

ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ-ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΩΝ ΡΙΠΙΔΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ LANDSAT/TM ΚΑΙ TERRA/ASTER

Αστάρας Θ., Βουβαλίδης Κ. και Οικονομίδης Δ.

Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. 546 21
Θεσσαλονίκη, astaras@geo.auth.gr, vouval@geo.auth.gr, oikonomi@geo.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η ακριβέστερη οριοθέτηση και χαρτογράφηση αλλουβιακών ριπιδίων που απαντούν σε ορεινές περιοχές της Β. Ελλάδας, με τη βοήθεια: α) των δορυφορικών εικόνων LANDSAT/TM και TERRA/ASTER (διακριτικής ικανότητας 30 μ. και 15-90 μ. αντίστοιχα), β) τοπογραφικών και γεωλογικών χαρτών και γ) εργασίας υπαίθρου.

Η ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων έγινε με το λογισμικό ψηφιακής ανάλυσης εικόνων EASI/PACE. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν εξειδικευμένες μέθοδοι ψηφιακής επεξεργασίας (ενίσχυση της αντίθεσης, λόγοι φασματικών ζωνών, ανάλυση κυρίων συνιστωσών κλπ.) από τις οποίες προέκυψαν ψευδοέγχρωμες εικόνες που βοήθησαν στον καλύτερο εντοπισμό των ριπιδίων.

Οι εικόνες αυτές εισήχθησαν σε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ArcGIS και MapInfo) και έγινε η αναγωγή τους σε προβολικό σύστημα UTM.

Στη συνέχεια, έγινε ψηφιοποίηση των ριπιδίων που οριοθετήθηκαν στις εικόνες και υπέρθεση των επιπέδων των ριπιδίων σε τοπογραφικούς και γεωλογικούς χάρτες της ΓΥΣ και του ΙΓΜΕ αντίστοιχα. Από την υπέρθεση αυτή, σε σύγκριση με υπαίθριες παρατηρήσεις, διαπιστώθηκε ότι οι δορυφορικές εικόνες βοηθούν στην ακριβέστερη οριοθέτηση των ριπιδίων, από ότι αυτά εμφανίζονται στους γεωλογικούς χάρτες ή εξαγονται από το σχήμα των ισοΰψων καμπυλών στους τοπογραφικούς χάρτες. Επίσης, από τη ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση των δορυφορικών εικόνων, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την κλίση και την κοκκομετρία των ριπιδίων.

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής μπορούν να βοηθήσουν τους γεωμορφολόγους που ασχολούνται με τη μορφολογική μελέτη – ανάλυση των αλλουβιακών ριπιδίων (έκταση, κλίση, κ.α.) και επίσης θα βοηθήσουν στην βελτίωση και συμπλήρωση των υπαρχόντων γεωλογικών χαρτών του ΙΓΜΕ, προσδιορίζοντας με μεγαλύτερη ακρίβεια τα όρια των ριπιδίων. Τέλος, μπορούν να εξαχθούν έμμεσα συμπεράσματα για την πιθανή υδροφορία των ριπιδίων, καθώς αυτή συνδέεται άμεσα με την κοκκομετρική σύσταση των υλικών των ριπιδίων.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η ακριβέστερη οριοθέτηση και χαρτογράφηση αλλουβιακών ριπιδίων με την βοήθεια δορυφορικών εικόνων και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ/GIS). Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν τα ριπιδία α) της περιοχής Νικήσιανης του όρους Παγγαίου και β) της περιοχής Δοξάτου Δράμας (Σχ. 1).

Η περιοχή μελέτης επιλέχθηκε έτσι ώστε να περιλαμβάνει δύο ριπιδία με διαφορετικά χαρακτηριστικά (γεωμορφολογικά, ορυκτολογικά και τρόπο γένεσης), στην ίδια ευρύτερη περιοχή, ώστε να μπορούν να μελετηθούν και να συγκριθούν ταυτόχρονα.

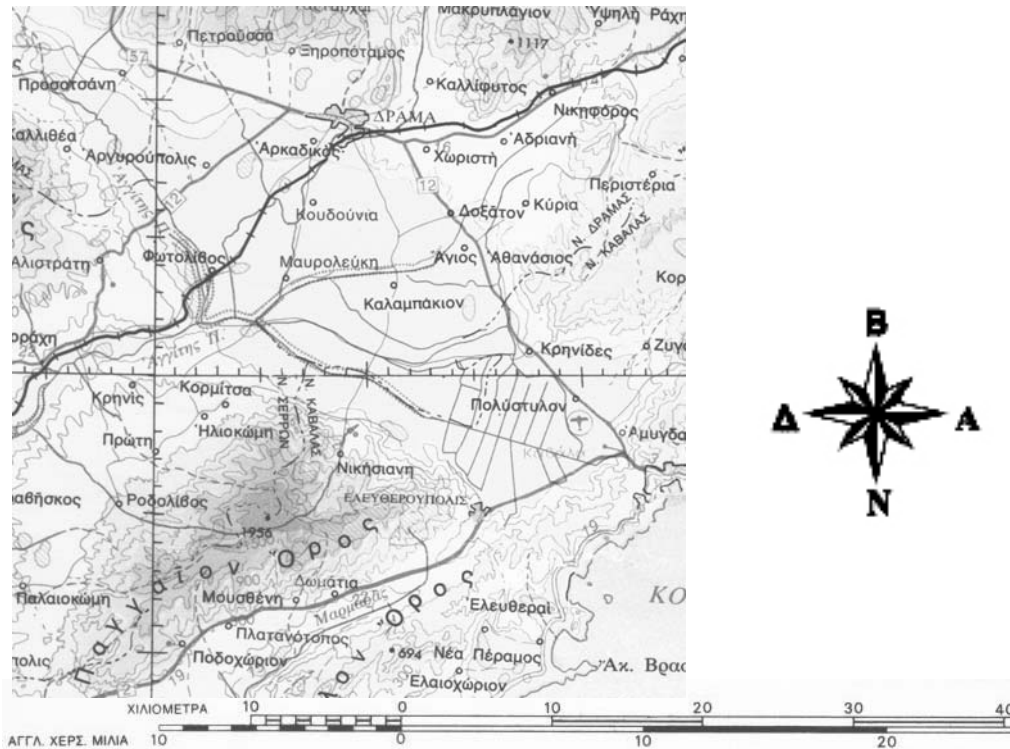
2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Α) Ριπίδιο Νικήσιανης

Το ριπίδιο της Νικήσιανης είναι ένα ριπίδιο με μεγάλη κλίση, αποτελούμενο από χονδρόκοκκα υλικά αποσαθρώσεως γνευσίων, μαρμάρων και γρανιτών. Τοπικά παρατηρούνται λατυποπαγή προερχόμενα από μάρμαρα. Μερικώς, το κάτω τμήμα του ριπιδίου καλλιεργείται.

B) Ριπίδιο Δοξάτου

Το ριπίδιο του Δοξάτου είναι ένα ριπίδιο μικρής κλίσεως, αποτελούμενο από σύγχρονες προσχώσεις (λεπτόκοκκο υλικό, χαλαρά κροκαλοπαγή και κόκκινες άργιλοι). Στο παρελθόν η περιοχή του ριπίδιου αποτελούσε, κατά πάσα πιθανότητα, το λιμναίο Δέλτα του χειμάρρου του Δοξάτου (Γάκης et al. 2004). Η περιοχή του ριπίδιου καλλιεργείται.



Σχήμα 1. Χάρτης ευρύτερης περιοχής μελέτης, στον οποίο φαίνονται οι περιοχές του Δοξάτου και της Νικήσιανης.

3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα εξής διαθέσιμα δεδομένα:

α) δορυφορικές εικόνες 1)LANDSAT-5/TM (10-08-1992) και διακριτικής ικανότητας 30 μέτρων 2)TERRA/ASTER (10-05-2002), διακριτικής ικανότητας 15, 30 και 90 μέτρων και 3)LANDSAT-5/TM, διακριτικής ικανότητας 30 μέτρων (ελεύθερη πρόσβαση σε γεωμετρικά διορθωμένη εικόνα της NASA (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>))

β) τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) κλίμακας 1:50.000, Φύλλα: Δράμα, Καβάλα, Νικήσιανη και Κρηνίδες (Γ.Υ.Σ. 1970, 1970, 1969 και 1970), καθώς και κλίμακας 1:100.000, Φύλλα: Δράμα και Καβάλα (Γ.Υ.Σ. 1971) και 1:500.000, Φύλλο: Αλεξανδρούπολις-Ανδριανούπολις (Γ.Υ.Σ. 1979).

γ) γεωλογικοί χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε., κλίμακας 1:50.000, Φύλλα: Δράμα, Κρηνίδες και Νικήσιανη-Λουτρά Ελευθερών (ΙΓΜΕ 1979, 1974 και 1974).

δ) λογισμικά ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων, EASI/PAGE και ERDAS, και

ε) λογισμικά Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ/GIS) ArcGIS και MapInfo.

Η ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων περιλαμβάνει ποικίλες τεχνικές βελτίωσής τους, έτσι ώστε να είναι κατάλληλες για οπτική ανάλυση.

Οι τεχνικές αυτές περιλαμβάνουν:

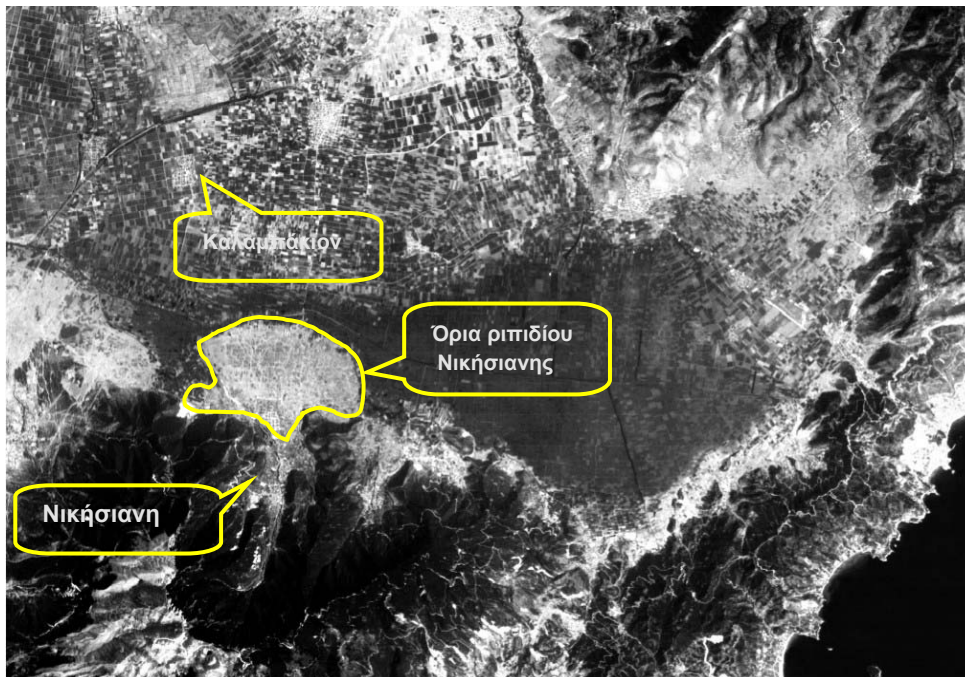
- α) την ενίσχυση της εικόνας (enhancement)
- β) τους λόγους φασματικών ζωνών (ratioing)
- γ) την Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis/PCA)
- δ) την χρησιμοποίηση φίλτρων (filtering), και
- ε) την σύνθεση ψευδοέγχρωμων εικόνων (False Colour Composites/FCC) (Gupta, 1991, Drury, 1993, Sabins, 1997).

Από τις παραπάνω τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων, αυτές που έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα ήταν η βελτίωση ψευδοέγχρωμων εικόνων με ενίσχυση της αντίθεσης με γραμμικό τρόπο (linear contrast stretch) και η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών.

4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ-ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

4.1 Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας LANDSAT-5/TM (10-08-1992)

Για τον εντοπισμό θέσεων ριπιδίων στην εικόνα LANDSAT-5/TM, χρησιμοποιήθηκε η ψευδοέγχρωμη εικόνα 3,2,1/RGB, γραμμικά ενισχυμένη. Στην εικόνα αυτή, η οποία δίνει μία προσομοίωση του πραγματικού χρώματος της καταγραφόμενης επιφάνειας, οριοθετείται με μεγάλη λεπτομέρεια το ριπίδιο της Νικήσιανης, ενώ αυτό του Δοξάτου δεν οριοθετείται επακριβώς. Η καλή οριοθέτηση του ριπιδίου της Νικήσιανης οφείλεται στο ότι η εικόνα LANDSAT έχει ημερομηνία λήψης 10-08-92, δηλαδή είναι θερινής περιόδου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα χονδρόκοκκα υλικά του ριπιδίου της Νικήσιανης, λόγω μη συγκράτησης υγρασίας να δημιουργούν έντονη χρωματική αντίθεση με την γύρω αρδευόμενη περιοχή, εξαιτίας της διαφορετικής ανακλαστικότητας (φασματικής ταυτότητας).



Σχήμα 2. Ψευδοέγχρωμη εικόνα 3,2,1/RGB ΑΠΟ LANDSAT/TM, 10-08-1992. Ριπίδιο Νικήσιανης

4.2 Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας TERRA/ASTER (10-05-1992)

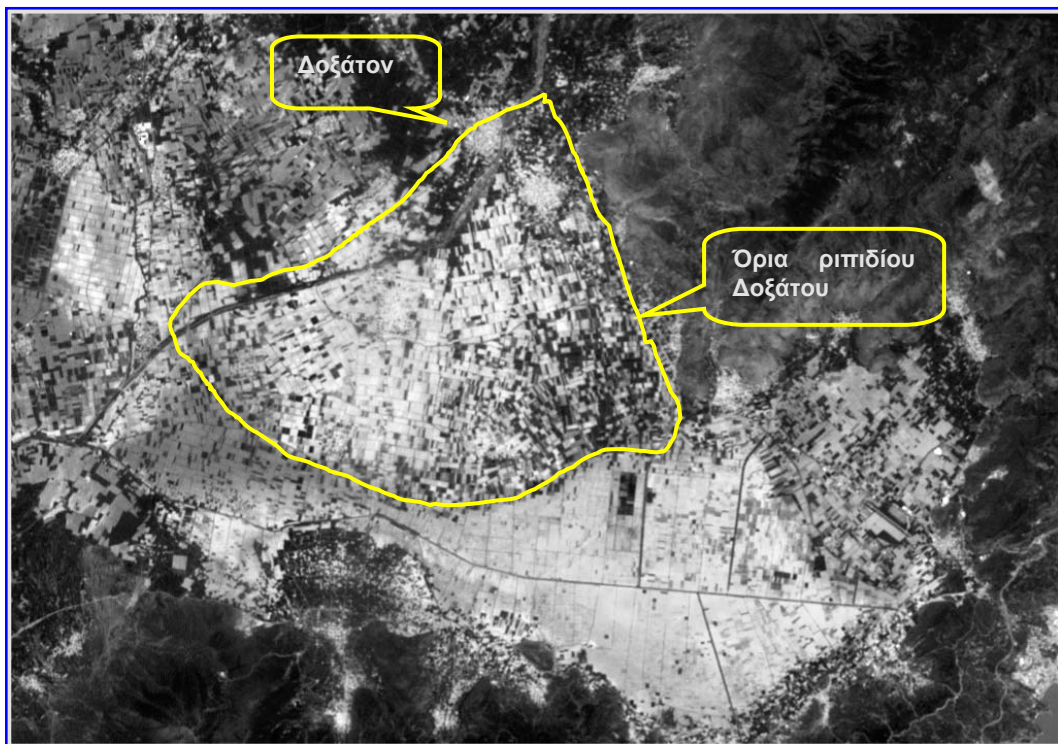
Για τον εντοπισμό των θέσεων των ριπιδίων στις εικόνες ASTER, χρησιμοποιήθηκαν οι προαναφερόμενες τεχνικές βελτίωσης των δορυφορικών εικόνων. Τα καλύτερα οπτικά αποτελέσματα έδωσε η τεχνική της Ανάλυσης των Κυρίων Συνιστωσών (Gupta 1991, Sabins 1997, Astaras et. al. 1996, Αστάρας και Οικονομίδης 2002), με την βοήθεια της οποίας επιτυγχάνεται μείωση του όγκου των πολυφασματικών δεδομένων του σαρωτή ASTER (6 φασματικές ζώνες), χωρίς όμως να έχου-

με μείωση της αποδιδόμενης αρχικής πληροφορίας. Ο μετασχηματισμός κυρίων συνιστωσών (principal component transformation), εφαρμόσθηκε στις φασματικές ζώνες 4-9 (SWIR), διακριτικής ικανότητας 30 μέτρων.

Οι τρεις πρώτες κύριες συνιστώσες (εικόνες PC1, PC2 και PC3), περιέχουν πάνω από το 99% των πληροφοριών των αρχικών έξι φασματικών ζωνών.

Με την βοήθεια της ψευδοέγχρωμης εικόνας PC1,PC2,PC3/RGB (ενισχυμένη γραμμικά), φαίνεται καθαρά το ριπίδιο του Δοξάτου ενώ το ριπίδιο της Νικήσιανης δεν είναι ευκρινές. Αυτό οφείλεται στο ότι η ημερομηνία λήψης της εικόνας ASTER είναι 10-05-2002, που σημαίνει ότι το έδαφος έχει αυξημένη υγρασία λόγω των ανοιξιάτικων βροχοπτώσεων η οποία κατακρατείται περισσότερο στα λεπτόκοκκα εδάφη του παλαιού λιμναίου Δέλτα του χειμάρρου του Δοξάτου, παρά στα χονδρόκοκκα του ριπιδίου της Νικήσιανης. Επίσης, το νότιο όριο του ριπιδίου του Δοξάτου, είναι ευκρινές λόγω της γειτνιάσής του με τα τενάγη των Φιλιππων που ξεχωρίζουν χαρακτηριστικά λόγω διαφορετικής φασματικής απόκρισης.

Οι φασματικές ζώνες VNIR του ASTER, παρά την καλύτερη διακριτική τους ικανότητα (15 m), δεν έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα, πιθανόν λόγω του μικρού αριθμού φασματικών ζωνών (τρεις), δύο εκ των οποίων βρίσκονται στο ορατό τμήμα του φάσματος.

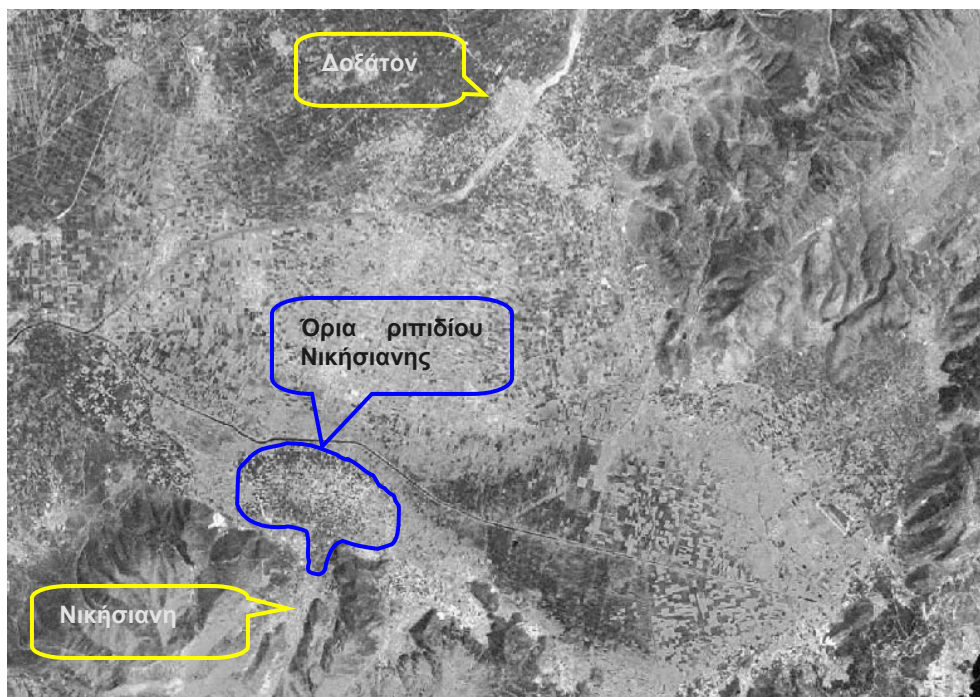


Σχήμα 3. Ψευδοέγχρωμη εικόνα PC1,PC2,PC3/RGB από τον δορυφόρο TERRA/ASTER (SWIR), 10-05-2002. Ριπίδιο Δοξάτου.

4.3 Εικόνα LANDSAT-5/TM (από NASA)

Η εικόνα αυτή αποτελεί έναν συνδυασμό των φασματικών ζωνών 7,4,2/RGB (ελεύθερη πρόσβαση σε γεωμετρικά διορθωμένη εικόνα της NASA).

Το πλεονέκτημά της είναι ότι διαθέτει προβολικό σύστημα UTM και μπορεί έτσι να χρησιμοποιηθεί ως ένα πολύ καλό τοπογραφικό υπόβαθρο για την διόρθωση των άλλων δύο δορυφορικών εικόνων. Η εικόνα αυτή, είναι ουσιαστικά μία εικόνα που τονίζει, με πράσινους τόνους τις περιοχές που επικρατεί η βλάστηση (φυσική και καλλιεργούμενη) και με ερυθρούς, περιοχές χωρίς φυτοκάλυψη. Στην εικόνα αυτή φαίνονται τα όρια του ριπιδίου της Νικήσιανης.



Σχήμα 4. Δορυφορική εικόνα LANDSAT-5/TM, 7,4,2/RGB (από NASA), στην οποία φαίνονται τα όρια του ριπιδίου της Νικήσιανης.

4.4 Σύγκριση των μεθοδολογιών

Στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 1), φαίνονται συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης των ανωτέρω δορυφορικών εικόνων στον εντοπισμό αλλουβιακών ριπιδίων καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 1

| | LANDSAT-5 /TM | TERRA/ASTER | LANDSAT NASA |
|--|--|--|------------------------|
| Κόστος | Μεγάλο κόστος | Μικρό κόστος | Ελεύθερη πρόσβαση |
| Γεωμετρική Διόρθωση | ΟΧΙ | NAI/L1B | NAI/MrSid |
| Λογισμικό Γεωμετρικής Διόρθωσης | ArcGIS | EASI/PACE, ERDAS, ArcGIS | - |
| Προβολικό Σύστημα | - Control points | UTM/WGS84, Control points | UTM/WGS84 |
| Ψηφιακή Επεξεργασία | 3,2,1/RGB | PC1,PC2,PC3/RGB | 7,4,2/RGB |
| Παραγόμενη πληροφορία | Σαφή όρια ριπιδίων με μεγάλη κλίση και χονδρόκοκκα υλικά | Σαφή όρια ριπιδίων με μικρή κλίση και πιο λεπτόκοκκα υλικά | Βλάστηση / μη βλάστηση |

5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΡΙΠΙΔΙΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΓΣΠ

Οι επεξεργασμένες ψευδοέγχρωμες δορυφορικές εικόνες 3,2,1/RGB του LANDSAT/TM (Σχ. 5) και PC1,PC2,PC3/RGB του TERRA/ASTER (Σχ. 6), εισήχθησαν στο λογισμικό ArcGIS, όπου με την βοήθεια της γεωμετρικά διορθωμένης εικόνας 7,4,2/RGB LANDSAT/TM (NASA, UTM-WGS84), έγινε αντίστοιχη γεωμετρική διόρθωση. Ακολούθησε ψηφιοποίηση των ριπιδίων επάνω στις δύο εικόνες. Με το πέρασμα της διαδικασίας αυτής, μετρήθηκαν η περίμετρος και το εμβαδόν των δύο ριπιδίων (πίνακας 2).

Πίνακας 2. Περίμετρος και το εμβαδόν των εξεταζόμενων ριπιδίων

| ΡΙΠΙΔΙΟ ΝΙΚΗΣΙΑΝΗΣ | ΡΙΠΙΔΙΟ ΔΟΞΑΤΟΥ |
|------------------------------|------------------------------|
| ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ=16,6 km | ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ=40,1 km |
| ΕΜΒΑΔΟΝ=14,1 km ² | ΕΜΒΑΔΟΝ=99,0 km ² |
| ΚΛΙΣΗ=3,4% | ΚΛΙΣΗ=0,4% |

Ο υπολογισμός της επιφάνειας και της περιμέτρου των ριπιδίων προέκυψε από την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων (πίνακας 2).

Η κλίση των ριπιδίων (πίνακας 2), το εμβαδόν και ο λόγος αναγλύφου των λεκανών απορροής (πίνακας 3) προέκυψαν από την ψηφιακή επεξεργασία των τοπογραφικών χαρτών της ΓΥΣ, κλίμακας 1/50.000 σε Γ.Σ.Π.

Ο λόγος αναγλύφου *Rh* (*Relief Ratio*, Schumm 1955, 1956, Strahler 1964 από Αστάρτα 1980) μετρήθηκε διότι εκφράζει το συνολικό βαθμό κλίσης της λεκάνης τροφοδοσίας (απορροής) και αποτελεί έτσι έναν δείκτη της έντασης των διεργασιών διαβρώσεως που έλαβαν χώρα στις κλιτύες της λεκάνης.

$Rh=H/Lh$, όπου: *H*=η μέγιστη υψομετρική διαφορά της λεκάνης απορροής και *Lh*=το μέγιστο μήκος της λεκάνης απορροής, προβαλλόμενο στο οριζόντιο επίπεδο

Σύμφωνα με τους παραπάνω συγγραφείς, υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του λόγου αναγλύφου και της απώλειας φερτών υλικών από το στόμιο της λεκάνης ανά μονάδα επιφάνειας της λεκάνης απορροής.

Πίνακας 3.

| Λεκάνη Απορροής Ριπιδίου Νικήσιανης | Λεκάνη Απορροής Ριπιδίου Δοξάτου |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| εμβαδόν=29,32 km ² | εμβαδόν=322 km ² |
| λόγος αναγλύφου=0,190 | λόγος αναγλύφου=0.035 |

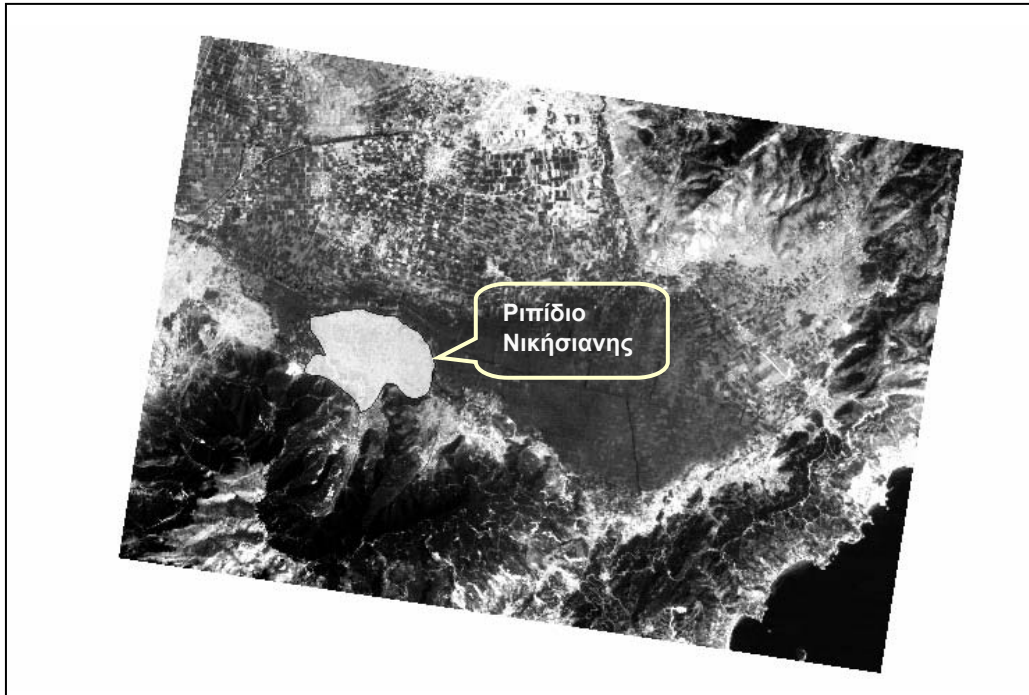
Από τα παραπάνω προκύπτει ο σαφής διαχωρισμός του ριπιδίου του Δοξάτου, μικρής κλίσης, μεγάλης έκτασης και αποτελούμενου από λεπτόκοκκα υλικά, με μορφολογικά χαρακτηριστικά δελταϊκού σχηματισμού (Γάκης et al. 2004), και του ριπιδίου της Νικήσιανης, μεγάλης κλίσης, μικρής έκτασης και αποτελούμενου από χονδρόκοκκα υλικά.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Bloom (1998), όσο μικραίνει η κλίση του ριπιδίου, τόσο αυξάνει το εμβαδόν του. Πράγματι, από τον πίνακα 2, αυτό επιβεβαιώνεται στα ριπίδια της περιοχής μελέτης μας. Επίσης, σύμφωνα με τον ίδιο συγγραφέα, το εμβαδόν του ριπιδίου ισούται με το 1/2 έως 1/3 του εμβαδού της αντίστοιχης λεκάνης απορροής. Από τους πίνακες 2 και 3, φαίνεται ότι το εμβαδόν του ριπιδίου της Νικήσιανης είναι το 1/2 του εμβαδού της αντίστοιχης λεκάνης απορροής, ενώ για το ριπίδιο του Δοξάτου, η σχέση αυτή φτάνει το 1/3 περίπου.

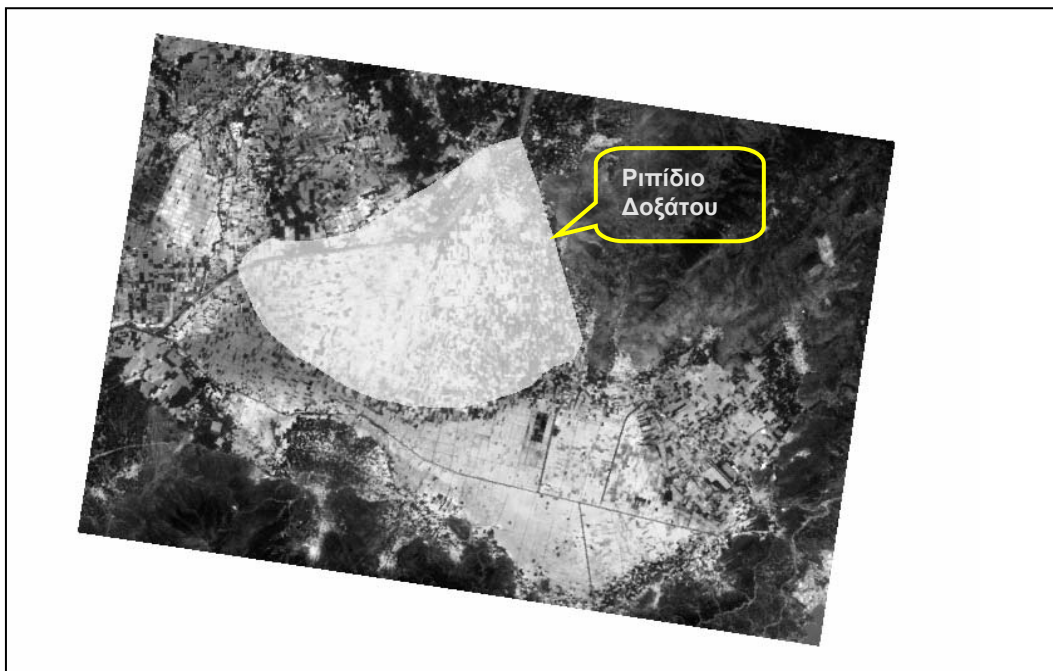
Επίσης, σύμφωνα με τον Schumm (1955, από Αστάρτα 1980), υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του λόγου αναγλύφου και της απώλειας φερτών υλικών από το στόμιο μιας λεκάνης απορροής ανά μονάδα επιφάνειας της λεκάνης απορροής. Έτσι, από τη σύγκριση των λόγων αναγλύφου *Rh* των λεκανών απορροής (πίνακας 3), εξάγεται το συμπέρασμα ότι η απώλεια φερτών υλικών (sediment loss) ανά μονάδα επιφάνειας από τη λεκάνη απορροής της Νικήσιανης είναι μεγαλύτερη από αυτή της λεκάνης απορροής του Δοξάτου. Η διαφορά στην απώλεια των φερτών υλικών έχει ως αποτέλεσμα, σύμφωνα με τον Bull (1968), την μεγάλη κλίση του ριπιδίου της Νικήσιανης σε αντίθεση με τη μικρή κλίση του ριπιδίου του Δοξάτου.

Σύμφωνα με τους Hooke και Rohrer (1979, από Bloom 1998), τα ριπίδια μεγάλης κλίσης και αποτελούμενα από χονδρόκοκκα υλικά, σχηματίζονται σε ξηρό περιβάλλον (mud-flow fans or "dry" fans), ενώ τα ριπίδια μικρής κλίσης και αποτελούμενα από λεπτόκοκκα υλικά αναπτύσσονται σε υγρό περιβάλλον (fluvial fans or "wet" fans). Από τα παραπάνω, μπορούμε βάσιμα να υποθέσουμε

ότι το ριπίδιο της Νικήσιανης αναπτύχθηκε σε ξηρό περιβάλλον, ενώ αυτό του Δοξάτου, σε υγρό. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύει την άποψη των Γάκη et al. (2004) που χαρακτηρίζουν το ριπίδιο του Δοξάτου, Δελταϊκής προέλευσης.



Σχήμα 5. Οριοθέτηση ριπίδιου Νικήσιανης, με την βοήθεια της γεωμετρικά διορθωμένης εικόνας LANDSAT-5/TM (3,2,1/RGB), 10-08-1992.



Σχήμα 6. Οριοθέτηση ριπίδιου Δοξάτου, με την βοήθεια της γεωμετρικά διορθωμένης εικόνας TERRA/ASTER (PC1,PC2,PC3/RGB), 10-05-2002.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι δορυφορικές εικόνες βοηθούν στην ακριβέστερη οριοθέτηση των ριπιδίων, από ότι αυτά εμφανίζονται στους γεωλογικούς χάρτες ή εξαγονται από το σχήμα των ισοϋψών καμπυλών στους τοπογραφικούς χάρτες. Συγκεκριμένα το χαμηλής κλίσης ριπίδιο του Δοξάτου δεν ήταν χαρτογραφημένο στο γεωλογικό χάρτη ως ριπίδιο, αλλά ως αλλουβιακός σχηματισμός.

Για την χαρτογράφηση του μικρής κλίσης ριπιδίου του Δοξάτου (αποτελούμενου από λεπτόκοκκα υλικά), καταλληλότερη αποδείχθηκε η χρήση εικόνων TERRA/ASTER, εαρινής λήψης, ενώ για το μεγάλης κλίσης ριπίδιο της Νικήσιανης (αποτελούμενο από χονδρόκοκκα υλικά), η χρήση εικόνων LANDSAT-5/TM, θερινής λήψης.

Ο συνδυασμός των δορυφορικών εικόνων και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, θα μπορούσε να εφαρμοστεί και σε άλλες περιοχές όπου είναι επιθυμητή η γρήγορη χαρτογράφηση και μέτρηση μορφομετρικών στοιχείων, όπως έκταση και λόγος αναγλύφου των λεκανών τροφοδοσίας, και περίμετρος, κλίση και έκταση των ριπιδίων.

Η ανωτέρω μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί στην βελτίωση και συμπλήρωση των υπαρχόντων γεωλογικών χαρτών. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή συμπερασμάτων για την κλίση και την κοκκομετρική σύσταση των ριπιδίων, κάτι που βοηθά ιδιαίτερα τους υδρογεωλόγους, αφού στα υλικά των αλλουβιακών ριπιδίων παρουσιάζεται πλούσια υδροφορία.

Τα τελευταία χρόνια, με την χρήση των εικόνων RADAR στις γεωεπιστήμες (Henderson και Lewis 1998), μπορούν να εξαχθούν ακριβέστερα συμπεράσματα για την κοκκομετρική σύσταση των ριπιδίων, καθώς οι τόνοι του τεφρού χρώματος στις εικόνες RADAR (RADAR-image brightness), έχουν σχέση με την διεισδυτικότητα των κυμάτων RADAR στην επιφάνεια των ριπιδίων. Ως γνωστόν (Drury 1993, Αστάρης 1993, Sabins 1997,) η διεισδυτικότητα των κυμάτων RADAR επηρεάζεται από την τραχύτητα και τις διηλεκτρικές ιδιότητες του εδαφικού καλύμματος των ριπιδίων, οι οποίες είναι άμεσα εξαρτώμενες από την κοκκομετρία και την υγρασία του εδαφικού καλύμματος.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αστάρης, Θ., 1980. Ποσοτική Γεωμορφολογική Μελέτη Τμήματος των Δ. Πλευρών του Όρους Βερτίσκον (Κ. Μακεδονία). Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ, 213 σελ.
- Αστάρης, Θ., 1993. Η συμβολή της σύγχρονης Τηλεπισκόπησης στην περιοδική ανίχνευση-προστασία του περιβάλλοντος. Παραδείγματα από τον διεθνή και ελληνικό χώρο. Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Συμποσίου "Ηλιακή και διαστημική έρευνα στην Ελλάδα σήμερα Ι". Ξάνθη, 26-29 Απριλίου 1993, σελ. 332-366.
- Αστάρης, Θ. και Οικονομίδης, Δ., 2002. Εντοπισμός-οριοθέτηση περιοχών εκφόρτισης γλυκού νερού και παράκτιων ζωνών υφαλίμρινσης με την χρήση δορυφορικών εικόνων LANDSAT-5/TM. Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Ξάνθη, 8-10 Νοεμβρίου 2002, σελ. 337-346.
- Γάκης, Α., Βουβαλιδής, Κ., Βαβλιάκης, Ε., Μαργώνη, Σ., Μουζούρη, Γ. και Ψιλοβίκος, Άρ., 2004. Γεωμορφολογικές παρατηρήσεις στην υδρολογική λεκάνη και στο δελταϊκό ριπίδιο του χειμάρρου Ξηροποτάμου-Δοξάτου Δράμας. Γεωγραφίες, τεύχος 9 (υπό έκδοση).
- Γ.Υ.Σ., 1969. Φύλλο: Νικήσιανη, κλίμακα 1:50.000
- Γ.Υ.Σ., 1970. Φύλλα: Δράμα, Καβάλα και Κρηνίδες, κλίμακα 1:50.000.
- Γ.Υ.Σ., 1971. Φύλλα: Δράμα και Καβάλα, κλίμακα 1:100.000
- Γ.Υ.Σ., 1979. Φύλλο: Αλεξανδρούπολις-Ανδριανούπολις, κλίμακα 1:500.000
- Ε.Ι.Γ.Μ.Ε., 1974. Φύλλα: Νικήσιανη και Λουτρά Ελευθερών, κλίμακα 1:50.000.
- Ι.Γ.Μ.Ε., 1979. Φύλλο: Δράμα, κλίμακα 1:50.000
- Astaras, T., Kalathas, A., Oikonomidis, D., Lambrinos, N. and Soulakellis, N., 1996. Delineation of landslides using GIS and digital image processing techniques on multitemporal Landsat-5/TM images: A case study from the Pindus mountain, Greece. Proceedings of the 16th EARSeL Symposium, Malta, 20-23 May 1996, pp. 215-222.
- Bloom, A.L., 1998. Geomorphology: A Systematic Analysis of Late Cenozoic Landforms. Third Edition. Prentice Hall, New Jersey, 482 p.
- Bull, W. B., 1968. Alluvial Fan, Cone, in R. W. Fairbridge Edit., Encyclopedia of Geomorphology (Encyclopedia of Earth Sciences Series, Volume III), New York, Reinhold Book Corporation, 7-10.
- Drury, S.A., 1993. Image interpretation in Geology, London, Chapman Hall, Second Edition, 283pp.
- Gupta, R.P. 1991: Remote Sensing Geology, Springer-Vorlag, Berlin, 356 p.
- Henderson, F.M. and Lewis A.J., 1998. Principles and Applications of Imaging Radar. Manual of Remote Sensing, Third Edition, Volume 2. New York, John Willey and Sons, Inc., 866 p.

- Hooke, R.L. and Rohrer, W.L., 1979. Geometry of alluvial fans: Effect of discharge and sediment size. *Earth Surface Processes*, v.4, pp. 147-166.
- Sabins, F.F., 1997. *Remote Sensing, Principles and Interpretation*, New York, W. H. Freeman and Co, Third Edition, 494pp.
- Schumm, S., 1955. The relation of drainage basin relief to sediment loss. *Internat. Union Geodesy and Geophys. 10th General Assembly (Rome), Trans.*, 1, 216-19.
- Schumm, S., 1956. Evolution of drainage systems and slopes in the badlands at Perth Amboy. New Jersey, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 67, 597-646.
- Strahler, A., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In CHOW, V.T., (Ed.) *Handbook of Applied Hydrology*, Section 14, 54, New York.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>

<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome>

ABSTRACT

DELINEATION AND MAPPING OF ALLUVIAL FANS BY THE USE OF LANDSAT/TM AND TERRA/ASTER SATELLITE IMAGES.

Astaras T., Vouvalidis K. and Oikonomidis D.

Department of Environmental and Physical Geography, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 546 21, Thessaloniki, astaras@geo.auth.gr, vouval@geo.auth.gr, oikonomi@geo.auth.gr

The purpose of the study was the precise delineation and mapping of alluvial fans, locating in mountainous areas of Northern Greece, by the use of: a) LANDSAT/TM and TERRA/ASTER satellite images (pixel size 30 m and 15-90 m respectively), b) topographic and geological maps and c) ground truth procedure (visiting the test sites).

The digital processing of the satellite images was performed with EASI/PACE software. False Colour Composite (FCC) images, that helped to the better delineation of the fans, were derived by various image processing techniques, such as contrast stretching, ratioing, Principal Components Analysis (PCA), etc.

The above processed images were imported into a Geographical Information System (GIS) and they were georeferenced to UTM Projection System.

Next, the delineated (on the images) fans were digitized and overlaid to topographic and geological maps. From the above procedure and in comparison to ground-truth observations, it was concluded that the boundaries of the alluvial fans appear more precisely on the satellite images than in geological and topographic maps.

The results of this study could be useful to geomorphologists dealing with morphological study and analysis of the alluvial fans. Also, they could be helpful to the improvement and updating of the present geological maps, by defining the boundaries of the fans more precisely. Finally, conclusions can be drawn concerning the sorting of the materials comprising the fans. This information could be useful to hydrogeologists, since the alluvial fans are usually rich in water content.